

## ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТИТАНОМАГНЕТИТОВЫХ ПЕСКОВ И РУД

### PROCESSING AND SANDS TITANOMAGNETITE ORES

Коршунов Е.А., Буркин С.П.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, spb@mtf.ustu.ru

A new technology option of stainless steel smelting, silicon, magnesium and alloys processing titanomagnetite sands. Melting is done in the unit of a new design with an active magnetic stirring of the melt. The proposed technology can be considered as non-waste. Final product of an aluminous cement clinker.

Keywords: electromagnetic stirring melts titanomagnetite ore, recovery of metals, metal reducing agents.

В крупнотоннажном металлургическом производстве чугуна и стали процессы достаточно хорошо изучены и эффективны как в случаях применения технологий твердофазного, так и жидкофазного восстановления железа из рудных материалов. Однако при организации мини-металлургического производства со сравнительно малым объёмом выпуска металлопродукции опыт крупных предприятий становится бесполезным и следует привлекать иные энергосберегающие способы извлечения железа из руд. Кроме того, плавильные агрегаты должны иметь возможность прямого совмещения с литейными машинами, а последние в свою очередь – с деформирующими агрегатами при максимальном использовании тепла плавильно-литейного передела.

В настоящей работе в качестве примера рассмотрен технологический вариант малотоннажной безотходной и экономически эффективной переработки титаномagnetитовых песков Халактырского месторождения Камчатки.

Сырьевой базой создаваемого цеха миниметаллургии ООО «Экомет», как и существующего производства минеральной ваты, являются титаномagnetитовые пески местного Халактырского месторождения дюнных комплексов юго-восточного побережья Камчатки – продукта естественного разрушения базальтовых пород вулканического происхождения, запасы которых оцениваются в 78,7 млн.т. Химический состав названных песков приведен в таблице.

Таблица.

Химический состав титаномagnetитовых песков Халактырского месторождения (%)

Всего	В том числе:							
	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Прочие
100	2,54	27,55	10,23	7,23	39,25	6,98	1,22	5,0

Исходный материал – титаномagnetитовые пески используется в природном химсоставе (см. табл.) без обогащения с тем, чтобы обеспечить его комплексную безотходную переработку.

Не требуются также операции измельчения и классификации, т.к. максимальный класс крупности не превышает +1,0, и свыше 80% песков составляет фракция –0,5+0,2, что говорит об их хорошей и достаточной для целей металлургии сортированности.

Таким образом, к поступающим пескам предъявляется одно требование – отсутствие резких отклонений по химсоставу, что для данного месторождения характерно и подтверждается многочисленными отборами проб и их химическим анализом.

В соответствии с ранее представленным техническим предложением мини-металлургическое производство на промплощадке ОАО «Экомет» развивается в три этапа. Настоящая работа касается только технологических решений и состава оборудования по первому этапу реализации проекта.

Один агрегат первой очереди металлургического предприятия Камчатки позволит безотходно из подсушенных песков

производить металлический продукт и конечный шлак, пригодный для производства дорогого высокоглиноземистого цемента. Но поскольку сбыт дорогого цемента может быть ограничен, то на первой очереди предприятия, при использовании плавильного агрегата (МПА) и специального оборудования, возможно производство дополнительной металлургической продукции, например, отливок из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ). МПА первой очереди может быть использован и для качественной плавки лома или для плавки песка, расплав которого будет пригодным для производства каменного литья. В качестве товарной металлопродукции могут рассматриваться ферросилиций и металлический магний, а также отлитые в изложницы стальные слитки общего применения.

На втором этапе развития предприятия возможна организация производства горячедеформированных труб общего назначения из ВЧШГ с использованием в качестве восстановителя железа из расплава песков, получаемого на участке первой очереди ферросилиция. Пуск второй очереди позволит

также увеличить объем производства клинкера высокоглиноземистого цемента и магния.

При окончании строительства третьей очереди предприятия с пуском участка силикоалюминия значительная часть (или весь объем) производимого при восстановительной плавке песка шлака используется для получения силикоалюминия и далее чистого алюминия. Переработка песков на участке силикоалюминия возможна и целесообразна, но не обязательна. Целесообразность определяется использованием тепла первичной восстановительной плавки, поскольку расплав шлака переливается в печь восстановления углеродом кремния и алюминия. В то же время, если на участке клинкера (I очередь строительства) производство шлака избыточно, то он может быть вовлечен в производство силикоалюминия. Полученный в итоге алюминий может рассматриваться как товарный продукт и как восстановитель для участков клинкера и ВЧШГ.

Песок на плавку после сушки подается в МПА горячим. Нагрев горячего песка до температуры плавления, в этом случае не будет сопровождаться выделением газа. Не будет газа и при восстановлении оксидов песка восстановителем, т.к. это восстановление рекомендуется осуществлять сильным металлическим восстановителем – алюминием. Сушку песка с удалением из него летучих следует осуществлять еще и потому, что это позволяет исключить попадание нежелательной примеси в паровой фазе магния в момент восстановления оксида магния алюминием в условиях создания в плавильной камере МПА необходимого разряжения.

В МПА перед подачей в него обезвоженного и нагретого песка наводится жидкая металлическая подложка из железного лома или из получаемого продукта плавки – ферросилиция. Разогрев подложки до температуры плавления песка обеспечивает индукционная тигельная часть МПА. Далее жидкая металлическая подложка раскручивается до образования в ней лунки параболической формы. Раскручивание жидкого металла обеспечивается электромагнитным полем МГД-устройства. В лунку параболической формы из жидкого металла и подается нагретый песок.

Разработанная технология переработки песков Халактырского месторождения Камчатки в первую очередь направлена на получение ферросилиция с содержанием кремния до 50 % и с

добавками титана и ванадия, магния металлического или оксида магния (периклаза), плавленного клинкера для производства высокоглиноземистого цемента. При необходимости по этой технологии часть железа с добавками титана и ванадия может быть получена в виде самостоятельного продукта, а другая часть будет в составе ферросилиция, причем содержание кремния в этой части будет увеличенным и достигать до 60...75%. Схема технологического процесса представлена на рис. 1 (вариант 1).

Представляется целесообразным выполнять в МПА совместные плавки песка и лома черных металлов. Примерная схема такой плавки представлена на рис. 2. (вариант 2). Из схемы следует, что кроме железосодержащего продукта по этой схеме производится ферросилиций, магний и плавленный клинкер (ПК).

На приведенных схемах дана количественная информация, какая установленная порция песка вводится в процесс плавки, сколько вводится восстановителя, сколько для этой порции надо ввести оксида кальция, сколько получится металлического продукта, сколько будет конечного шлака – плавленного клинкера.

Следует заметить, что расчеты выхода продукции и расход восстановителя по схемам подсчитаны при условии полного извлечения металлов в указанные металлические продукты. На самом деле выход годного будет иным поскольку в восстановительных реакциях часть оксидов, подлежащих восстановлению, может по тем или иным причинам не восстановиться. Возможно образование трудно восстанавливаемого соединения между вновь образованным оксидом, в частности с оксидом алюминия, и восстанавливаемым оксидом. Однако известно, что нежелательного соединения может или совсем не быть, или его образуется незначительное количество, если в процесс вводится оксид кальция, который, во-первых, способствует уменьшению образования указанных соединений, а, во-вторых, полезен еще и тем, что снижает температуру конечного шлака – плавленного клинкера (ПК), и обеспечивает необходимую пропорцию в ПК, идущего на изготовление цемента.

Следует заметить также, что если какая-то часть подлежащих восстановлению оксидов будет не восстановлена и уйдет в шлак, то и расход дорогого восстановителя (алюминия) будет меньшим.



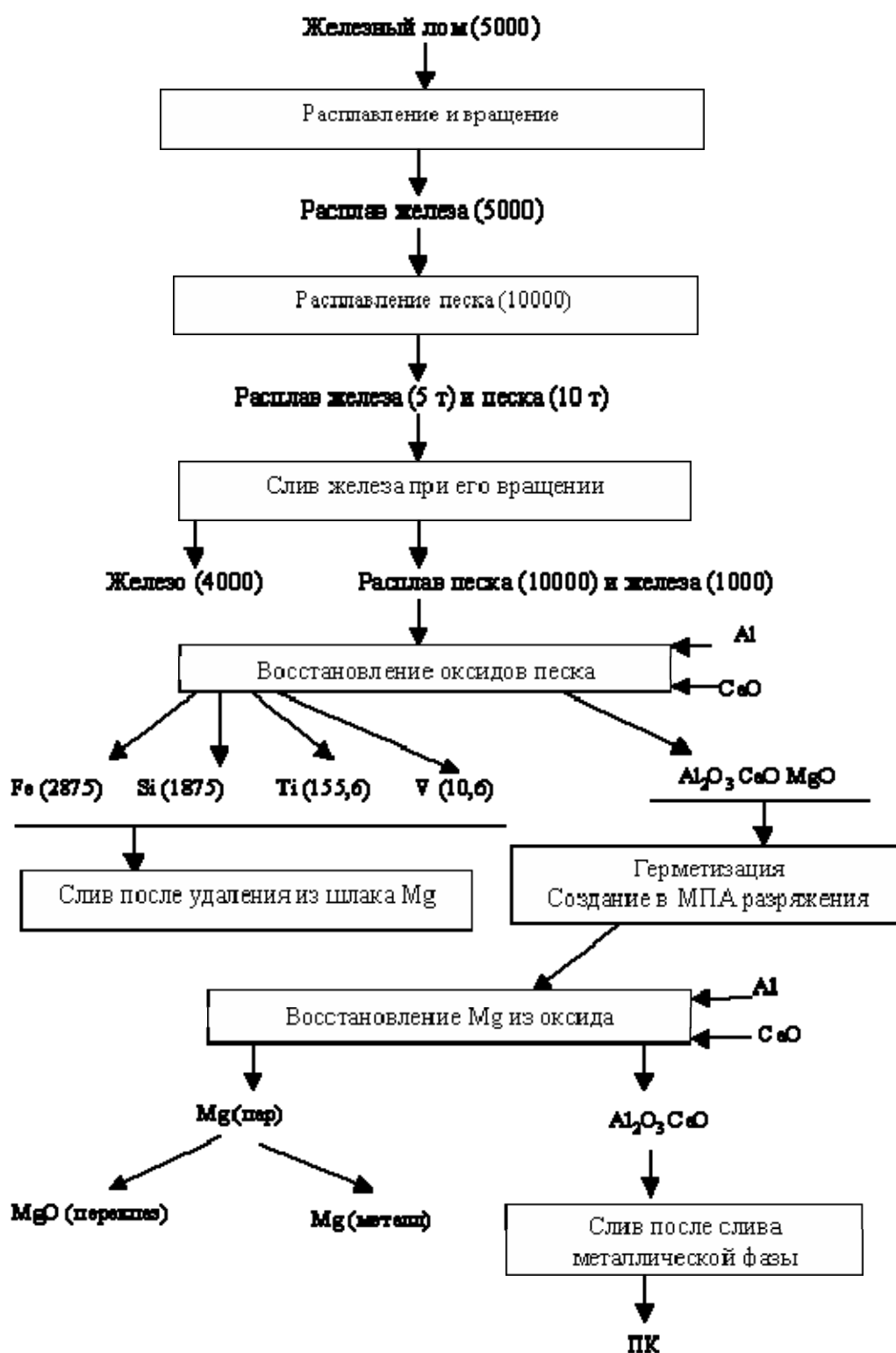


Рис. 2. Технологическая схема переработки титаномагнетитовых песков Халактырского месторождения Камчатки (вариант 2)

Незначительные количества других оксидов, содержащихся в песке, из-за их малости в расчетах не учитываются.

Поскольку описание конструкции МПА подробно представлено в патенте РФ № 2207476 «Плавильный агрегат, то в данной работе оно не приводится.

Оба показанных на рис. 1 и 2 технологических варианта реализуются на одном

плавильном агрегате (в рассматриваемом варианте емкостью 10 т).

Работа МПА при реализации технологии, представленной на рис. 1, осуществляется в такой последовательности. Титаномагнетитовый песок с Халактырского месторождения должен доставляться автотранспортом на сушильный участок плавильного цеха. В МПА песок должен

поступать обезвоженным и лучше нагретым до температуры не менее 100...120<sup>0</sup>С.

До подачи песка на плавку проводится подготовка МПА к работе, которая включает два обязательных этапа. На первом этапе в стартовое состояние приводятся все механизмы и устройства, обслуживающие агрегат, включая необходимые работы по разогреву футеровки в соответствии с утвержденной инструкцией.

Второй этап подготовки включает за счет энергии от тигельной части наведение в плавильной камере МПА жидкой металлической подложки и приведение за счет работы МГД-устройства этой подложки во вращение с образованием лунки параболической формы с заданными геометрическими размерами, зависящими от числа оборотов вращающейся подложки и от диаметра плавильной камеры агрегата. Масса подложки должна быть такой, чтобы можно было обеспечить параболической лунке заданные геометрические параметры. Если, например, на втором этапе подготовки МПА к плавке металлическая подложка из железного лома будет иметь жидкую массу 5 тонн, размещенную в круглой плавильной камере диаметром 2,4 м, то глубина жидкой металлической фазы составит порядка 15 см. если далее это количество жидкой фазы привести во вращение и при этом иметь скорость вращения жидкого металла относительно стенок плавильной камеры порядка 3 м/с, то глубина параболической лунки будет порядка 45 см. Число оборотов вращающегося металла будет около 24 об/мин.

После разогрева жидкой металлической фазы до температуры выше температуры плавления железа примерно на 50-100<sup>0</sup>С, можно приступить к вводу песка на плавку. Сначала рекомендуется ввести, например, 3 тонны песка, причем со скоростью, соответствующей возможной подачи энергии в единицу времени от тигельной части МПА. При мощности тигельной части МПА в 3-4 МВт три тонны песка расплавятся менее чем за 30 минут.

После расплавления трех тонн песка и до того, как начать восстановление оксидов из песка из МПА следует слить в ковш ранее расплавленные 5 тонн железа, причем слить через верхнюю боковую летку в дополнительной емкости МПА. Из этого железа можно получать товарную продукцию, например литые заготовки для прокатки в сортовую продукцию.

Далее, в расплавленные песок в качестве восстановителя вводится алюминий, специально подготовленный для ввода, и добавляется оксид кальция. Алюминий в расплаве песка восстановит из оксидов железо, кремний, титан и ванадий. Их количество в килограммах и количество подаваемого восстановителя и добавляемого оксида кальция показано на схеме. Выделяющегося тепла от экзотермических реакций восстановления оксидов алюминием будет достаточно, чтобы повысить температуру шлака не менее чем до 1800<sup>0</sup>С.

Полученный из 3 тонн песка ферросилиций не сливается, а далее расходуется на восстановление железа из подаваемой порции песка. Его хватает, чтобы восстановить железо из примерно 8 тонн песка. Восстанавливать железо из оксидов будет кремний и титан. Сами при этом уйдут в шлаковую фазу в виде оксидов. В металлической фазе останутся только железо и ванадий в указанном на схеме количестве.

Рекомендуется то железо, которое было получено из 8 тонн песка, слить, а то железо, которое было получено из ранее расплавленных 3 тонн песка оставить.

Далее алюминием из шлаковой фазы следует восстановить кремний и титан из их оксидов и объединить эти металлы с оставленным в плавильной камере железом.

Затем следует обеспечить герметизацию плавильной камеры агрегата, создать в камере разрежение порядка 6...10 мм.рт.столба и алюминием восстановить из оксида в паровую фазу магний. Сколько на это потребуется алюминия, сколько должно быть введено дополнительно оксида кальция и сколько будет получено магния указано на схеме.

После разгерметизации плавильной камеры МПА, из нее сливается основная часть ферросилиция. В МПА в металлической фазе должно остаться такое количество ферросилиция, чтобы кремния и титана в этом ферросилиции хватило на восстановление железа в следующей подаваемой порции песка из 8 тонн.

Оставшейся массе ферросилиция обеспечивается вращение в плавильной камере с таким числом оборотов, чтобы центральная часть этой камеры была освобождена от металлической фазы. После этого можно будет произвести раскрытие центральной летки и слить конечный шлак – плавленый клинкер. ПК сливается в ковш, из которого затем переливается в изложницы. Масса сливаемого шлака указана на схеме (рис. 1).

После закрытия центральной летки операции по плавке очередной порции песка в 8 тонн повторяются.

В итоге из порции песка в 8 тонн будет получено:

- железа с добавкой ванадия около 1500 кг;
- ферросилиция с содержанием кремния до 74 % и с добавками титана и ванадия около 2000 кг;
- магния около 540 кг, или MgO (периклаза) – около 904 кг;
- плавленого клинкера примерно 8600 кг.

Алюминия на восстановление оксидов из 8 тонн песка расходуется около 3180 кг, оксида кальция потребуется примерно 1060 кг.

На рис. 1 показан расход материалов в условиях, когда на плавку подается порция песка массой 8 тонн и процесс плавки ведется в МПА, диаметр плавильной части в котором 2,4 м. Фактически может быть принята порция песка, например, в 6 тонн или 10 тонн. Оптимальная масса

порции подаваемого в МПА песка может быть определена после ввода МПА в работу. Тогда же будет уточнен расход энергии на переработку тонны песка. Проведенные предварительные расчеты, учитывающие выделение энергии от экзотермических реакций при восстановлении оксидов песка кремнием и алюминием, показывают, что расход энергии на каждую тонну песка не превышает 400 кВт ч.

Переработка песка по технологической схеме, показанной на рис. 2, предусматривает совместную переработку железного лома и песка. Если спрос на ПК будет незначительным, то эта технология может быть востребована. Эта схема отличается тем, что железо по первому варианту восстанавливается кремнием и титаном, главным образом кремнием из ферросилиция, в котором частично присутствует титан. В металлургической практике широко известно применение ферросилиция для восстановления железа из его оксидов, причем, если необходимо, для практически полного восстановления железа из оксидов. Железо по второму варианту восстанавливается только алюминием.

Полного восстановления алюминием из шлака кремния и титана ожидать не приходится. Часть этих металлов останется в шлаке в оксидных соединениях. Какая часть не будет восстановлена, могут показать опытные плавки, проведенные по новой технологии. Однако сильного снижения качества ПК из-за наличия в нем оксидов кремния и титана не произойдет, т.к. их сравнительно немного – 5...10 % и меньше.

Извлечение магния рекомендуется вести по алюмотермическому методу, а он, если вести процесс восстановления магния из оксида с добавлением оксида кальция, дает почти стопроцентное извлечение магния из оксида.

Технологическая эффективность движения жидкого металла в процессах плавки не вызывает сомнений. Это движение часто создают в дуговых электропечах за счет размещения на днище печи статоров, к которым подводится ток пониженной частоты, например 0,5...2,0 Гц, и за счет этого обеспечивается проникновение электромагнитного поля через немагнитное днище корпуса печи и через футеровку днища, толщина которой может достигать до одного метра. Считается полезным движение металла, которое создается в индукционной тигельной электропечи. Но в стандартных тигельных электропечах при создании движения жидкого металла на поверхности может образовываться нежелательный выпуклый мениск, способствующий стеканию шлака к стенкам тигля. Футеровка в месте контакта стенки тигля со стекающим к ней шлаком изнашивается быстрее.

В предлагаемом МПА при создании вращения жидкого металла электромагнитным полем энергия для плавки шихты будет передаваться через образованную заранее металлическую подложку, причем ее передача от обмотки индуктора тигельной части МПА к металлу осуществляется более интенсивно.

Вследствие наличия лунки параболической формы концентрация энергии электромагнитного поля на единицу объема металла по высоте этой лунки будет разной, причем больше в верхней части лунки, что можно считать положительным фактором. Более горячий металл в верхней части лунки перемещается в нижнюю часть, усиливая перемешивающий эффект в металлической и шлаковой фазах расплава.

В металлургических процессах большую роль играет массообмен между металлической и шлаковой фазами на границе шлак-металл. По литературным данным скорость восстановления, например оксида железа углеродом чугуна на границе шлак-металл почти в 100 раз больше скорости восстановления оксида железа углеродом в доменной печи.

Металлы из оксидов восстанавливают не только углеродом. Для многих оксидов более сильными восстановителями являются кремний и алюминий. Если эти восстановители будут иметь место в металлической фазе расплава, то на границе шлак-металл они также будут ускоренно восстанавливать оксиды ряда металлов, у которых свободная энергия образования оксида меньше, чем у восстановителя.

Поскольку восстановительные процессы активно проходят на границе шлак-металл, то безразлично, какая площадь контакта между шлаком и металлом. Площадь параболической лунки, в которой располагается шлак, может быть больше площади днища плавильного агрегата, например, в 1,5-2,0 раза. Это обстоятельство, во-первых, позволяет увеличить массообмен между шлаковой и металлической фазами на границе шлак-металл и, во-вторых, позволяет увеличить передачу тепла от металлической фазы к шлаковой, в том числе и за счет экзотермических реакций, которые имеют место, если оксиды шлака восстанавливаются алюминием или кремнием.

Другое достоинство плавки в МПА состоит в том, что вращающийся металл может при необходимости подниматься на всю высоту плавильной камеры агрегата, предохранять футеровку стенок камеры от агрессивного действия шлака, особенно при перегреве шлака. Если все-таки из-за температуры и движения расплава защищенная металлической фазой футеровка будет интенсивно размываться, то на футеровке стенок возможно создание металлический гарнисажа определенной толщины.

#### Заклучение

Даже на этом этапе, располагая многофункциональным плавильным агрегатом, возможно расширение номенклатуры выпускаемой продукции. В первую очередь, агрегат позволяет перерабатывать стальную и чугунный лом, с целью получения качественной стали в слитках или стального литья, поскольку на МПА возможна реализация практически всех функций агрегатов комплексной обработки стали. Непрерывное движение расплава и его активное перемешивание ускоряют и облегчают, как легирование, так и

рафинирование плавки. Получаемые по штатной технологии переработки титаномагнетитовых песков стальные передельные заготовки, после слива подложки в последствии могут быть переплавлены в этом же МПА, с доведением химсостава стали до марочного состава.

Появляется перспектива производства высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, поскольку МПА обеспечивает условия эффективного проведения десульфурации, растворения углерода, модифицирования расплава, сфероидизирующей обработки расплава и стабилизации температуры чугуна перед разливкой. Поскольку такой чугун обладает вполне удовлетворительной пластичностью, на следующих этапах развития производства сравнительно просто реализуется процесс горизонтального

непрерывного литья, например, прессовых заготовок. В этом случае дополнительная емкость МПА играет роль промежуточного ковша горизонтальной МНЛЗ, в стенке которого монтируется кристаллизатор, а управление процессом разливки осуществляется скоростью вращения расплава в плавильной емкости. Разливка проводится с большим шагом вытягивания, равным длине прессовой заготовки. Непрерывно-литой слиток разделяется по несаям шагов, что гарантирует отсутствие нежелательных включений в металл прессовых заготовок.

Неизбежный при внедрении данной технологии и оригинального оборудования инновационный риск может быть оправдан перспективами непрерывного расширения технологических возможностей мини-металлургического комплекса.